Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und Landmanagement

Band: 109 (2011)

Heft: 9: Sonderheft

Artikel: Automatisierte Verkehrssignalkartierung aus mobil erfassten Stereobilddaten

Autor: Cavegn, S.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-236814

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Automatisierte Verkehrssignalkartierung aus mobil erfassten Stereobilddaten

S. Cavegn

Für die Erfassung der Strassenmöblierung im Fahrbahnkorridor werden vermehrt mobile Messfahrzeuge eingesetzt. Wenn geeignete Objekte automatisiert kartiert werden können, führt dies im Vergleich zu konventionellen Methoden zu einer deutlichen Effizienzsteigerung. In diesem Artikel werden Algorithmen und Softwaremodule für die automatische und benutzerunterstützte Detektion und Klassifizierung von Verkehrssignalen aus mobil erfassten Stereobildsequenzen mit anschliessender 3D-Positionsbestimmung vorgestellt. Dazu wurde ein neuer Ansatz entwickelt, welcher die Tiefeninformation aus Stereobildaufnahmen als wichtige Grundlage verwendet. Unter guten Bedingungen können mit diesem Verfahren etwa 90% aller Verkehrssignale mit überwiegend roten, blauen und gelben Farbanteilen im Normal- und Kleinformat der Schweiz automatisch detektiert und 85% korrekt klassifiziert werden. Zudem ist eine vollautomatische Kartierung mit einer 3D-Genauigkeit von unter 10 cm möglich.

Pour la saisie des signaux routiers du corridor de circulation on utilise de plus en plus des automobiles de mensuration. Quand il est possible de procéder à une cartographie automatisée d'objets adéquats il en résulte un accroissemnt sensible de l'efficience en comparaison de méthodes conventionnelles. Dans cet article sont présentés des algorithmes et modules de logiciels pour la détection et la classification automatiques en appui de l'utilisateur de signaux routiers à partir de séquences stéréo saisies de façon mobile et suivies de la détermination 3D de la position. A cet effet une nouvelle méthode a été développée en utilisant comme base importante l'information de profondeur des photos stéréo. En de bonnes conditions cette méthode permet de détecter automatiquement 90% et de classifier 85% de tous les signaux routiers suisse de format normal ou petit dont les composants de couleur sont majoritairement rouges, bleus ou jaunes. En plus une cartographie entièrement automatique d'une précision 3D de moins de 10 cm est possible.

Per il rilevamento dell'arredo urbano sulla carreggiata stradale si ricorre sempre più sovente a veicoli mobili di misurazione. Se gli oggetti indicati sono rilevati cartograficamente, questo genera, rispetto ai metodi convenzionali, un chiaro incremento dell'efficienza. L'articolo seguente presenta gli algoritmi e i moduli di software impiegati per il rilevamento e la classificazione automatica dei cartelli stradali, provenienti da sequenza di immagini stereo registrate mobilmente, con successiva determinazione tridimensionale della posizione. In aggiunta, si è sviluppato un nuovo approccio che impiega le informazioni di profondità quale base di spicco. Quando le condizioni sono ottimali, questo processo consente di rilevare automaticamente il 90% di tutti i cartelli stradali con parti prevalentemente colorate di rosso, blu e giallo in formato normale e ridotto della Svizzera, e di classificarne correttamente l'85% Inoltre è pure possibile una rilevazione cartografica completamente automatizzata con una precisione 3D inferiore a 10 cm.

Zurzeit wird in der Schweiz viel über Verkehrssignale diskutiert. Zum einen werden die aus den Jahren 1962 respektive 1979 stammenden Verordnungen über die Verkehrsregeln und über die Strassensignalisation total revidiert. Zum anderen wurden in den letzten Jahren in mehreren Kantonen überflüssige Verkehrssignale entfernt, denn die unnötige Beschilderung in der Schweiz kostet den Bund, die Kantone und die Gemeinden jährlich mehrere Millionen Franken. In den meisten Fällen ist den Eigentümern die Position der zahlreichen Verkehrssignale nicht bekannt und deren Zustand nicht erfasst. Die Lösung liegt in einem digitalen Verkehrssignalinventar. Die konventionelle Methode für die Erfassung eines solchen Inventars besteht darin, die Sachdaten vor Ort zu ermitteln und die Position mit einem GNSS-Empfänger im Dezimeterbereich zu bestimmen. Neuerdings erfolgt die Kartierung und Inventarisierung aber auch vermehrt mit mobilen Messfahrzeugen, denn diese erlauben eine sehr effiziente Kartierung von 3D-Objekten, ohne den fliessenden Verkehr zu beeinträchtigen. In Belgien wurden Verkehrssignale über das ganze Landesgebiet anhand von Laserscanning-Daten detektiert, die Ableitung der Sachdaten erfolgte aber grösstenteils manuell (Trimble, 2009). In Holland erfolgte auf der Basis von Panoramabildern, welche im Abstand von 5 m vorliegen, die manuelle Kartierung aller Verkehrssignale (de With et al., 2010). Können die Verkehrssignale aus georeferenzierten Bilddaten auch automatisch extrahiert werden, reduziert sich der Kartierungsaufwand massiv. In diesem Artikel werden Algorithmen und Softwaremodule für die automatisierte Detektion, Klassifizierung und Kartierung der Verkehrssignale in der Schweiz (siehe Abb. 1) präsentiert. Diese weisen unterschiedliche Farben und Formen auf und sind vorwiegend entlang von Hauptstrassen angebracht. Der detaillierte Ablauf der Algorithmen ist nach der Erläuterung des Lösungsansatzes beschrieben. Um

Per digitalisar objects sin vias vegn ei pli e pli savens fatg diever da sistems da mobile mapping. Sch' objects adattai san vegnir cartai automaticamein, meina quei en cumparegliaziun cun metodas convenziunalas tier ina considerabla augmentaziun dall'effizienza. En quei artechel vegnan algoritmus e moduls da software per la dedecziun e classificaziun da signals da traffic ord sequenzas da maletgs stereoscopics presentai. L'execuziun da quels sco era la determinaziun dalla posiziun tridimensiunala succeda automaticamein ni sa vegnida sustenida digl utilisader. Per quei ei ina nova metoda vegnida sviluppada, la quala utilisescha l'informaziun dalla profunditad ord maletgs stereoscopics sco impurtonta basa. Sut bunas cundiziuns san cun quei proceder circa 90% da tut ils signals da traffic cun principalmein colur cotschna, blaua e melna el format normal e pign dalla Svizra vegnir detectai automaticamein e 85% classificai correctamein. Ultra da quei ei ina cumplettamein automatisada cartaziun cun in'exactadad tridimensiunala da meins che 10 cm pusseivla.

das Potenzial der entwickelten Algorithmen aufzuzeigen, sind danach Untersuchungen und Resultate dokumentiert. Abschliessend wird ein Fazit gezogen und ein Ausblick gegeben.

Nutzung der Tiefeninformation aus der Stereobildgeometrie

Für die Verkehrssignalkartierung wurde ein Ansatz entwickelt, welcher die aus Stereobildaufnahmen generierten Tiefenkarten als zentrales Element nutzt. Tiefenkarten sind Bilder, bei denen die einzelnen Pixelwerte jeweils den Abstand zwischen Kamera und dem im entsprechenden Pixel abgebildeten Objekt beinhalten. Obwohl die Tiefeninformation aus Dense-Stereo-Matching ein riesiges Potenzial hat, wird sie für die Verkehrssignalextraktion nur von Cyganek (2008) als optionaler Bestandteil verwendet. Wenn Stereobilder vorliegen, können die Verkehrssignale auch 3D kartiert werden, was mit Monobildern nicht möglich oder sehr umständlich ist. Da die Bestimmung der Strassenmöblierung in allen drei Dimensionen zunehmend wichtiger wird, ist diese Kartierungsmöglichkeit wesentlich. Sie ermöglicht beispielsweise automatisierte Veränderungsanalysen, die Nachführung und die Überlagerung von bestehenden Geodaten in Mixed-Reality Umgebungen.

Für die Datenerfassung kann das Stereobild-basierte Mobile Mapping System des Instituts Vermessung und Geoinformation (IVGI) der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) eingesetzt werden (Burkhard et al., 2011). Zurzeit stehen für die Bildaufnahme zwei Stereosysteme mit Industriekameras unterschiedlicher Auflösung zur Verfügung (siehe Abb. 2). Die direkte Georeferenzierung der Stereobildpaare liefert ein Navigationssystem von Applanix, bestehend aus einem GNSS-Empfänger, einer Inertialmesseinheit und einem Distanzmessindikator. Diverse Testfahrten mit diesem Kartierungsfahrzeug haben ergeben, dass für gut signalisierte Punkte bei einer ausreichenden GNSS-Konstellation 3D-Genauigkeiten von 2–3 cm möglich sind (Cavegn, 2010).

Damit vereinfachte Verfahren für die Stereobildzuordnung angewendet werden können, sind die leicht konvergenten Stereobilder in den Normalfall umzurechnen. Auf Grund der resultierenden Normalbilder erfolgt die Generierung der Tiefenkarten mit dem Semi-Global-Matching-Algorithmus nach Hirschmüller (2008). Für die automatische Detektion und Kartierung von Verkehrssignalen sind sowohl die Normalbilder als auch die Tiefenkarten notwendig (siehe Abb. 2). Weiter werden Referenzmuster von allen möglichen Verkehrssignalen für die Klassifizierung benötigt. Nach erfolgreicher Detektion, Klassifizierung und Kartierung sind die 3D-Position sowie die Sachdaten des Verkehrssignals bekannt.

Die Tiefenkarten werden von den entwi-

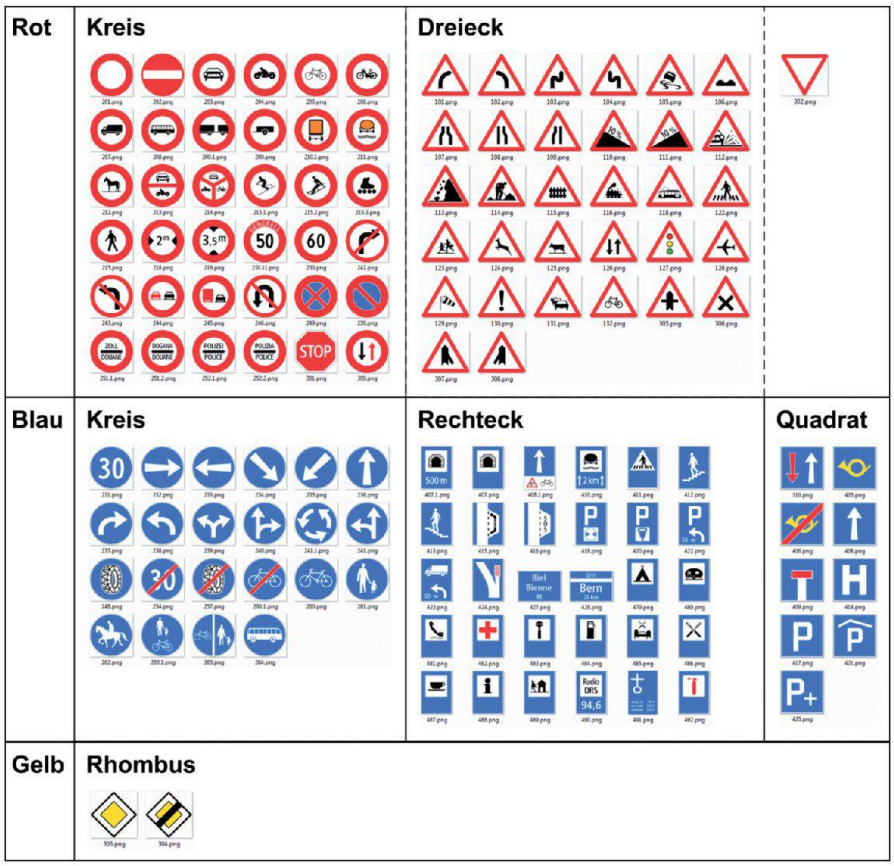

Abb. 1: Verkehrssignale in der Schweiz, welche mit den entwickelten Algorithmen automatisch detektiert, klassifiziert und kartiert werden können.

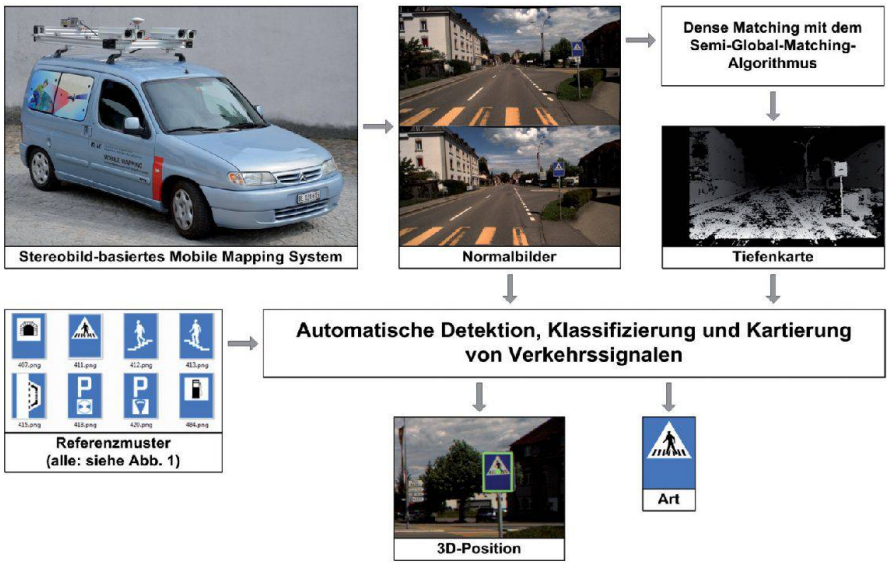

Abb. 2: Eingangs- und Ausgabedaten für die automatische Detektion, Klassifizierung und Kartierung von Verkehrssignalen.

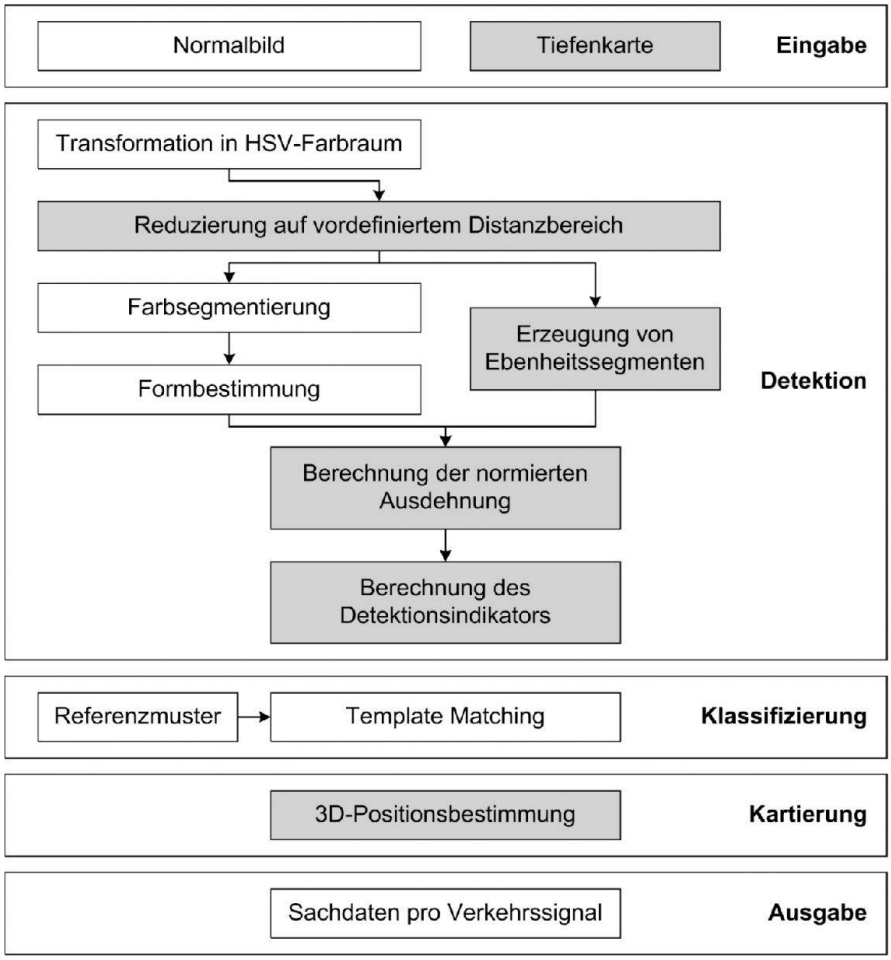

Abb. 3: Entwickelte Algorithmen für die automatische Detektion, Klassifizierung und Kartierung von farbigen Verkehrssignalen (graue Felder: Operationen nutzen die Tiefeninformation).

ckelten Algorithmen für unterschiedliche Aufgaben verwendet. Durch den vordefinierten Distanzbereich lässt sich der Suchraum wesentlich einschränken. Regionen mit ähnlichen Tiefenwerten können ausgeschieden und für die Beurteilung der Detektionsgüte verwendet werden. Anhand der Tiefeninformation ist es auch möglich, distanzabhängige Bedingungen für die Farbsegmente wie die Fläche und Ausdehnung zu definieren und die 3D-Position zu berechnen.

Entwickelte Algorithmen und Softwaremodule

Die entwickelten Algorithmen und Softwaremodule für die automatische Detektion, Klassifizierung und Kartierung von farbigen Verkehrssignalen wurden in Matlab implementiert (siehe Abb. 5). Der Ablauf ist in Abb. 3 schematisch dargestellt und wird nachfolgend erläutert.

Als Eingangsdaten sind von jedem Stereobildpaar das linke Normalbild und die entsprechende Tiefenkarte erforderlich (siehe Abb. 4). Das RGB-Normalbild wird in den HSV-Farbraum transformiert, da die Komponenten Farbton und Sättigung kaum auf unterschiedliche Beleuchtungsverhältnisse reagieren. Um den Suchraum im Normalbild einzuschränken, wird die Tiefenkarte vorgängig auf einen vordefinierten Distanzbereich reduziert. Die Segmentierung von roten, blauen und gelben Farbregionen erfolgt anhand von Schwellwerten für die Farbton- und Sättigung-Komponente, welche empirisch auf Grund von mehreren Bildern verschiedener Messfahrten ermittelt wurden. Danach wird die Form anhand von zwei Deskriptoren bestimmt. Auf Grund der Tiefenkarte werden die metrische Breite und Höhe des Segments berechnet. Liegen die Differenzen zu den normierten Seitenlängen (Schweizer Bundesrat, 1979) innerhalb einer Toleranz, werden die Seitenlängen gerundet. Anhand der Tiefenkarte werden Regionen segmentiert, in denen die Bildpunkte fast keine Tiefenunterschiede aufweisen (Ebenheitssegmente). Das Verhältnis zwischen Ebenheitssegment im Farbsegment

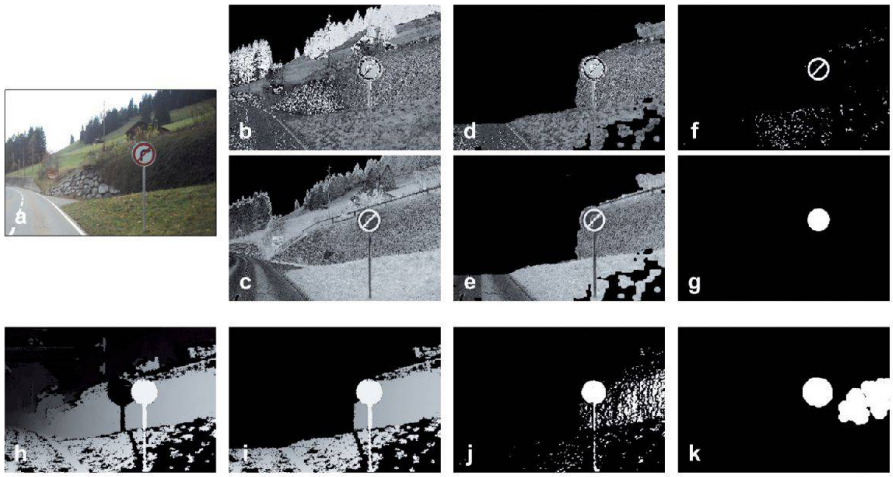

Abb. 4: Automatische Detektion eines runden Verkehrssignals mit vorwiegend roten Farbanteilen (a: Linkes Normalbild, b: Farbton-Komponente, c: Sättigung-Komponente, d: distanzreduzierte Farbton-Komponente, e: distanzreduzierte Sättigung-Komponente, f: rote Farbsegmente, g: rote Farbsegmente nach Bildoperationen, h: Tiefenkarte, i: distanzreduzierte Tiefenkarte, j: Ebenheitssegmente, k: Ebenheitssegmente nach Bildoperationen).

zur vollen Grösse des Farbsegments bildet den Detektionsindikator, welcher für die Beurteilung der Güte des Detektionsprozesses verwendet wird.

Für die Klassifizierung der Verkehrssignale erfolgt ein kreuzkorrelationsbasiertes Template Matching zwischen der segmentierten Bildregion und den vordefinierten Referenzmustern. Dabei werden nicht alle Referenzmuster geprüft, denn durch den hierarchischen Klassifizierungsansatz kann die Kandidatenmenge auf Grund von Farbe und Form wesentlich reduziert werden. Für Verkehrssignalarten, welche auf den erfassten Strassenabschnitten nicht vorkommen, besteht die Möglichkeit, diese vorgängig aus dem Klassifizierungsprozess auszuschliessen. Es wird das Template bestimmt, welches den grössten normierten Kreuzkorrelationskoeffizienten aufweist. Dieser Wert dient auch als Klassifizierungsindikator. Überschreitet er einen vordefinierten Schwellwert, war die Klassifizierung erfolgreich.

Wurde das Verkehrssignal im Normalbild lokalisiert, können mit Hilfe der Tiefenkarte aus den Bildkoordinaten des Schwerpunktes die 3D-Objektkoordinaten berechnet werden. Diese und andere Sachdaten wie die Referenzmusternummer und die normierten Seitenlängen werden am Ende des Prozesses in eine Textdatei ausgegeben.

Verkehrssignalkandidaten, welche einen zu tiefen Detektions- oder Klassifizierungsindikator aufweisen, müssen nachträglich durch den Benutzer verifiziert werden. Dafür steht eine grafische Benutzeroberfläche zur Verfügung (siehe Abb. 5 rechter Teil). Fälschlicherweise als Verkehrssignale segmentierte Regionen können verworfen und eine falsche Klassenzuweisung korrigiert werden. Wurde ein Verkehrssignal nicht automatisch detektiert, kann es aus den Bilddaten extrahiert werden, indem der Schwerpunkt digitalisiert wird. Die Suchraumeinschränkung erfolgt dabei durch die manuelle Digitalisierung, ansonsten kommen die gleichen Algorithmen wie beim automatischen Ansatz zum Zuge. Dies ist vor allem dann hilfreich, wenn schlechte Tiefenkarten vorliegen. Sind die Schwellwerte für die Farbsegmentierung nicht gut gewählt, kann die ebenfalls implementierte Hough-Transformation zur Verbesserung der Ergebnisse genutzt werden. Sie wird auch in Verbindung mit den Tiefenkarten für die Detektion von weissen und grauen Verkehrssignalen verwendet.

Untersuchungen und Resultate

Um die Leistungsfähigkeit der entwickelten Algorithmen zu ermitteln, wurden mehr als 4000 georeferenzierte Stereobildpaare verwendet. Die Bildaufnahmen erfolgten Mitte November 2010 im Rahmen einer Messfahrt in Muttenz bei einer Fahrgeschwindigkeit von circa 40 km/h. Da fünf Full-HD-Stereobildpaare pro Sekunde erfasst wurden, beträgt der Stereobildabstand etwa 2 m. Für die Beurteilung der Detektions- und Klassifizie-

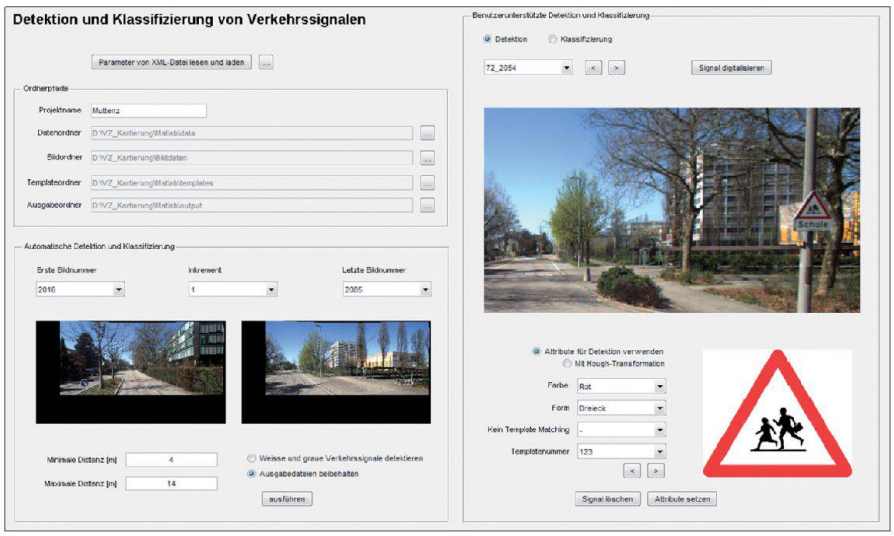

Abb. 5: Grafische Benutzeroberfläche für die automatische und benutzerunterstützte Detektion, Klassifizierung und Kartierung von Verkehrssignalen.

rungsergebnisse erfolgte eine Unterteilung in Hauptstrassen und Quartierstrassen. Alle Verkehrssignale mit über- wiegend roten, blauen und gelben Farbanteilen wurden bestimmt. Bei der Prozessierung im Distanzbereich von 4 bis 14 m konnten mit den entwickelten Algorithmen 89% der relevanten Verkehrssignale automatisch detektiert werden (siehe Tab. 1). Korrekt klassifiziert wurden auf einer Hauptstrasse 86% und auf Quartierstrassen 82%. Auf der Hauptstrasse wurden vier Farbsegmente fälschlicherweise als Verkehrssignale detektiert, auf den Quartierstrassen nur 2.

Für die Berechnung der Kartierungsgenauigkeit erfolgte die Bestimmung der Referenzkoordinaten von 22 Verkehrssignalen mit einem Tachymeter. Die Differenzen zu den mit den entwickelten Algorithmen automatisch ermittelten Koordinaten wurden ausgewertet. Tab. 2 zeigt, dass für die Komponente quer zur Fahrtrichtung und für die Höhe eine empirische Standardabweichung von etwa 5 cm erreicht werden konnte, für die Komponente in Fahrtrichtung 6 cm. Die grösste Abweichung einer Komponente beträgt 16 cm, die meisten Differenzen pro Komponente liegen jedoch im Bereich bis 5 cm. Die empirische Standardabweichung einer Koordinatendifferenz für die 3D-Position beträgt 9.5 cm.

	Anzahl	Detektion	Klassifizierung	False Positives
Hauptstrasse	63	89%	86%	4
Quartierstrassen	65	89%	82%	2

Tab. 1: Detektions- und Klassifizierungsgüte der entwickelten Algorithmen für eine Messfahrt in Muttenz.

	quer	längs	Höhe	Lage	3D
	zur Fahrtrichtung				
Maximale Differenz [mm]	152	146	157	154	159
m_{Diff} [mm]	46	64	53	79	95

Tab. 2: Kartierungsgenauigkeit der entwickelten Algorithmen für eine Messfahrt in Muttenz.

Fazit und Ausblick

Es konnte aufgezeigt werden, dass mit dem Einbezug der Tiefeninformation aus Dense-Stereo-Matching in der automatisierten Verkehrssignalkartierung sehr hohe Detektionsraten erreicht werden können. Unter guten Bedingungen können etwa 90% der Verkehrssignale mit überwiegend roten, blauen und gelben Farbanteilen im Normal- und Kleinformat in der Schweiz automatisch detektiert und 85% korrekt klassifiziert werden. Benutzerunterstützt lassen sich diese Werte um weitere 5% erhöhen. Somit müssen nur noch 5 bis 10% der Verkehrssignale manuell in den Stereobilddaten oder im Feld digitalisiert werden. Zudem treten durch den benutzerunterstützten Ansatz und diverse Einschränkungen nahezu keine «False Positives» auf. Eine vollautomatische Kartierung mit einer 3D-Genauigkeit von unter 10 cm ist möglich. Die Spin-off-Firma iNovitas AG der FHNW entwickelt dieses Programmsystem weiter und bietet darauf aufbauend kommerzielle Dienstleistungen an.

Da Detektions- und Klassifizierungsgüten von 100% nicht realistisch sind, besteht die Möglichkeit, die automatisch kartierten Verkehrssignale in einem georeferenzierten 3D-Video zu überlagern. Die 3D-Videos können mit dem StereoVision-Client (Burkhard et al., 2011) betrachtet, die Ergebnisse somit kontrolliert und die fehlenden Verkehrssignale speditiv digitalisiert werden. Eine erste Implementierung der Algorithmen für weisse und graue Verkehrssignale wird in Zukunft weiter verbessert. Geplant sind auch die Detektion von weiteren komplexen Verkehrssignalen und die Erkennung von Text. Eine Erhöhung der geometrischen Qualität und Zuverlässigkeit lässt sich durch Matching in Stereobild-Sequenzen erreichen (Huber, 2011). Die Verfolgung der Verkehrssignale über mehrere Stereobildpaare würde zudem eine Steigerung der semantischen Qualität und Zuverlässigkeit bewirken.

Referenzen:

Burkhard, J., Nebiker, S. und Eugster, H., 2011: Stereobild-basiertes Mobile Mapping: Technologie und Anwendungen. Geomatik Schweiz 6/2011: 295–298.

Cavegn, S., 2010: Fahrzeuggestützte stereobildbasierte Geodatenkartierung – Genauigkeitsuntersuchungen und Potenzialabschätzung. MSE Vertiefungsprojekt. Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz.

Cyganek, B., 2008: Road-Signs Recognition System for Intelligent Vehicles. Second International Workshop, RobVis 2008, Auckland, New Zealand, 219–233.

de With, P., Hazelhoff, L., Creusen, I. und Bruinsma, H., 2010: Efficient Road Maintenance. Automatic Detection and Positioning of Traffic Signs. GEOInformatics 13 (7): 10–12.

Hirschmüller, H., 2008: Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 30 (2): 328–341.

Huber, F., 2011: Mobile Mapping: Multi-Image Point Matching in Stereobildsequenzen. MSE Vertiefungsprojekt. Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz.

Schweizer Bundesrat, 1979: Signalisationsverordnung. URL: http://www.admin.ch/ch/d/sr/7/741.21.de.pdf (14. Juli 2011).

Trimble, 2009: Signs of Change in Belgium. Technology & more 2009 (3): 12–13.

Stefan Cavegn
Fachhochschule Nordwestschweiz
Institut Vermessung und Geoinformation
Gründenstrasse 40
CH-4132 Muttenz
stefan.cavegn@fhnw.ch